

середньої лінії, тим менш ефективно впливає управління обтіканням на рівень втрат при нерозрахунковому режимі обтікання решіток.

Список літератури: 1. *Lieblein S.* Theoretical Loss Relations for Low-Speed Two-Dimensional-Cascade Flow / S. Lieblein, W. Randebusch. – NASA TN 3662, 1956. 2. *Терещенко Ю.М.* Аэродинамическое совершенствование лопаточных аппаратов компрессоров / Ю.М. Терещенко. – М.: Машиностроение, 1987. – 168с. 3. *Терещенко Ю.М.* Аэродинамика компрессоров с управлением отрывом потока / Ю.М. Терещенко, М.М. Митрахович. – К.: Институт математики НАН Украины, 1996. – 252с. 4. *Гинзбург С.И.* Исследование неравномерного по окружности течения перед осевой компрессорной ступенью / С.И. Гинзбург, А.А. Суслеников // Сб. «Лопаточные машины и струйные аппараты». – М.: Машиностроение, 1971. 5. *Самойлович Г.С.* Нестационарное обтекание и аэроупругие колебания решеток турбомашин / Г.С. Самойлович. – М.: «Наука», 1969. – 444 с. 6. *Гиневский А.С.* Теория турбулентных струй и следов / А.С. Гиневский. – М.: Машиностроение, 1969. – 400 с. 7. *Чжен П.* Управление отрывом потока / П. Чжен. – М.: Мир, 1979. – 365с. 8. *Шлихтинг Г.* Теория пограничного слоя / Г. Шлихтинг. – М.: Наука, 1969. – 742 с. 9. *Абрамович Г.Н.* Прикладная газовая динамика / Г.Н. Абрамович. – М.: Физматгиз, 1976. – 888 с. 10. *Степанов Г.Ю.* Гидродинамика решеток турбомашин / Г.Ю. Степанов. – М.: Физматгиз, 1962. 11. *Терещенко Ю.М.* Экспериментальное исследование плоских компрессорных решеток с управлением пограничным слоем / Ю.М. Терещенко, А.Н. Говоров // Сб. материалов НТК, КВВАИУ, 1968. 12. *Терещенко Ю.М.* Исследование управления пограничным слоем в компрессорных решетках / Ю.М. Терещенко // Сб. Авиационные двигатели, КВВАИУ, 1969. 13. *Комаров А.П.* Исследование плоских компрессорных решеток / А.П. Комаров // Сб. «Лопаточные машины и струйные аппараты». – М.: Машиностроение, 1967. – № 2. 14. *Бекнев В.С.* Оптимальное профилирование решеток дозвуковых компрессоров, вентиляторов и насосов / В.С. Бекнев // Известия высшей школы. – М.: Машиностроение, 1963. – № 9.

Поступила в редколлегию 17.03.2012

УДК 621.311

А. В. ПРИХОДЬКО, директор ООО «Южкабель - сервис», Харьков

УМЕНЬШЕНИЕ ВЛИЯНИЯ МЕТОДИЧЕСКИХ ПОГРЕШНОСТЕЙ ПРИ АВТОМАТИЧЕСКОМ ОПРЕДЕЛЕНИИ ТЕХНИКО – ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ (ТЭП) ЭНЕРГООБОРУДОВАНИЯ ТЭС

Розглянуті методичні похибки, які виникають при автоматичному визначенні ТЕП в АСУ ТП енергоблоків ТЕС, а також засоби зменшення їх впливу на точність розрахунку ТЕП

Ключові слова: АСУ, енергоблок, електростанція

Рассмотрены методические погрешности, возникающие при автоматическом определении ТЭП в АСУ ТП энергоблоков ТЭС, а также способы уменьшения их влияния на точность расчета ТЭП

Ключевые слова: АСУ, энергоблок, электростанция

Methodical errors arising up at automatic determination of technical and economic indexes in automated control system of management the technological processes of power units of the thermal electric stations, and also methods of reduction of their influence, are considered on exactness of calculation of technical and economic indexes

Keywords: АСУ, power unit, power-station.

1. Введение

Одним из наиболее общих критериев при разработке системы определения ТЭП является точность получаемых результатов, включая в погрешность всякого рода отклонения от нормального функционирования системы (например, отказ в поступлении информации по одному из измерительных каналов). Структура погрешности определения показателя представляет собой комбинацию погрешностей от различных источников. Эти погрешности могут быть разделены на инструментальные и методические. Инструментальные погрешности определяются используемыми в системе аппаратными средствами (измерительными устройствами, преобразователями, вычислительной машиной), методические - принятым алгоритмом и его характеристиками.

Особенности реализации расчета на цифровой вычислительной машине, повышение требований к точности расчета, выполнение расчетов в темпе производства для решения задач оперативного управления – все это привело к необходимости рассмотрения как новых источников методических погрешностей (например, динамическая погрешность), так и тех, которым ранее не придавали должного внимания (например, погрешность расчета по усредненным параметрам).

Принятие недостаточно обоснованных алгоритмов на первом этапе внедрения относительно небольших расчетных задач компенсировалось избыточными возможностями вычислительных машин. В настоящее время при создании больших систем (например, АСУ мощными энергоблоками ТЭС) это приводит к их значительному усложнению и удорожанию.

Отмеченные обстоятельства обусловили необходимость постановки и проведения специальных исследований по рассматриваемой проблеме, результаты наиболее значительных из которых изложены в работах [1-4]. Предметом исследований в них явились методические погрешности, обусловленные алгоритмом расчета показателей. При исследовании каждого источника методической погрешности была поставлена задача получения результатов в таком виде, который позволил бы осуществить как анализ алгоритма - оценку возникающей погрешности, так и его синтез - определение характеристик алгоритма по заданной величине погрешности.

Погрешность дискретного усреднения технологических параметров

Погрешность дискретного усреднения представляет собой разность выражений:

$$\Delta \bar{X}_M = \frac{1}{T_0} \int_0^{t_{n+1}} x(t) dt - \frac{t_0}{T_0} \sum_{i=1}^n x(t_i). \quad (1)$$

Для определения среднеквадратичного значения этой погрешности необходимо располагать статистическими характеристиками случайного процесса изменения во времени усредняемого технологического параметра [3].

В результате выполненных исследований для среднеквадратичной погрешности дискретного усреднения получена следующая формула:

$$\sigma_{\Delta \bar{X}_b} = t_0 \sqrt{\sum \sigma_{x_j} C_j^4 / \gamma_j^2}, \quad (2)$$

где $C_j = K_1 + K_2 / (K_3 + \sqrt{T_0(\gamma_j)})$; $K_1 = 0,0715$; $K_2 = 1,5$; $K_3 = 1,325$ - постоянные коэффициенты; σ_x и γ_j - параметры автокорреляционной функции случайного процесса, аппроксимированной суммой экспонент

$$R_x(t) = \sum_j^m \sigma_{x_j}^2 e^{|-t/\gamma_j|}. \quad (3)$$

Формула (3) удобна тем, что может быть разрешена относительно периода квантования t_0 и, следовательно, позволяет его определить по заданной погрешности. Необходимость в этом возникает при разработке системы.

В качестве примера в таблице 1 приведены результаты расчета периода квантования ряда технологических параметров энергоблока 200 МВт с барабанным парогенератором. При выполнении этого расчета методическая погрешность $\sigma_{\Delta \bar{X}_M}$ была принята 0,03 %.

Таблица 1. Квантование технологических параметров энергоблока 200 МВт

Технологический параметр	Аппроксимирующее выражение корреляционной функции	Период расчета			
		5 мин	15 мин	1 ч	8 ч
		Периоды квантования			
Температура пара	$R_{t_n} = 8e^{- t/20 }$	96	120	225	8
Расход пара	$R_{D_n} = 27,6e^{- t/16 } + 47,6e^{-2 t/16 }$	27	33	61	205
Расход питательной воды	$R_{D_{n.в.}} = -50e^{- t/10 } + 100e^{-2 t/10 }$	11	14	30	106
Активная мощность генератора	$R_{N_2} = 2,7e^{- t/9 } + 7,5e^{-2 t/9 }$	17	24	58	168

Погрешность расчета вторичных показателей по средним значениям параметров

Реализация расчетов большинства вторичных показателей, являющихся средними значениями функций технологических параметров, связана с необходимостью выполнения большого объема вычислительных операций, так как количество измерений n технологических параметров за период расчета достаточно велико.

При вычислении показателей по усредненным значениям технологических параметров с целью сокращения объема вычислений возникает погрешность, обусловленная нелинейностью расчетных формул. Эта погрешность определяется разностью

$$\Delta f = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n f(x_i, y_i, \dots) - f\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i\right), \quad (4)$$

где x_i, y_i - текущие значения параметров.

Разность по формуле (4) зависит от вида нелинейности расчетной формулы показателя, а также диапазона и характера изменения технологических параметров. В таблице 2 дана оценка погрешности определения показателей энергоблока по средним значениям параметров. Приведены наиболее характерные виды нелинейных формул показателей энергоблока.

Определение среднеквадратичной оценки разности (4) связано с нелинейными преобразованиями случайных величин и представляет собой трудноразрешимую задачу. По этой причине исследование было ограничено оценкой верхнего значения погрешности в заданном диапазоне изменения параметров: $0 \leq a_i < x_i \leq b$; $0 < c \leq y_i \leq d$, где a, b, c, d – граничные значения параметров. Формулы для оценки погрешностей приведены в таблице 2.

Динамическая погрешность

Возможности вычислительных машин позволяют сократить до минимума период расчета показателей и в пределе ставить задачу получения текущих значений показателей. Использование при этом обычно применяемых расчетных формул выдвинуло проблему динамической погрешности, искажающей результаты расчета. Компенсация динамической погрешности принципиально может быть осуществлена двумя способами — усреднением результатов расчета показателей и использованием при расчете динамической модели объекта.

Таблица 2. Формулы для оценки погрешностей

Вид нелинейности	Примеры расчетной формулы показателя	Верхняя оценка погрешности
$f = \frac{1}{x}$	Коэффициент избытка воздуха $\alpha = \frac{21}{(21 - O_2)}$	$(1 - \sqrt{a-b})^2$; $a \leq x \leq b$
$i = x^{1/2}$	Расход среды, измеренный дроссельным расходомером, $D = k\sqrt{\Delta P}$	$\frac{1 - \sqrt{a/b}}{4(1 + \sqrt{a/b})^2}$; $a \leq x \leq b$
$f = xy$	Количество выработанного тепла $Q = Di$	$\frac{(1 - c/a)(1 - a/b)}{4}$; $a \leq x \leq b$; $c \leq y \leq d$
$f = \frac{x}{y}$	Внутренний к.п.д. турбины $\eta_{0i} = \frac{H_i}{H_0}$	$\frac{1 - \sqrt{c/d}}{1 + \sqrt{c/d}}(1 - ac/bd)$; $a \leq x \leq b$; $c \leq y \leq d$

Первый способ является наиболее простым. Однако при его использовании ценность расчета для оперативного управления может быть значительно снижена. Компенсация погрешности при помощи динамической модели объекта

представляет собой трудную задачу ввиду сложности модели теплоэнергетического объекта. При совместном применении указанных выше способов существенно облегчается решение задачи, так как представляется возможность использования упрощенной модели. Последняя в свою очередь позволяет резко сократить период расчета, потому что он в этом случае определяется только из условия различия модели и реального объекта. Такой подход к компенсации динамической погрешности может быть проиллюстрирован на примере расчета КПД барабанного парогенератора по прямому балансу тепла. Баланс тепла, определяемый в темпе технологического процесса, представляет значительный интерес в качестве критерия при оптимизации процесса горения. Динамические свойства энергоблока в нормальном режиме эксплуатации определяются парогенератором, так как инерционность последнего во много раз превышает инерционность турбогенератора. Поэтому компенсация динамической погрешности расчета КПД парогенератора позволяет одновременно компенсировать ее для КПД блока в целом.

В соответствии с [4] при расчете используется динамическая модель, полученная из условия представления барабанного парогенератора в виде сосредоточенной емкости, при этом расчет КПД за оперативный период $\Delta t = t_2 - t_1$ производится по формуле

$$\eta_n = \left(\int_{t_1}^{t_2} Q_n dt + A \Delta P_n \right) / Q_p^n \int_{t_1}^{t_2} B_m dt, \quad (5)$$

где Q_n — теплопроизводительность парогенератора; A — коэффициент, зависящий от постоянной времени пароводяного тракта; B_m — расход топлива; Q_p^n — калорийность топлива; ΔP_n — приращение давления пара за период расчета.

Погрешность использования априорной информации

Погрешность, возникающая при использовании априорной информации вместо рабочей в процессе расчета ТЭП, зависит от статистических свойств рабочей информации (измеряемых параметров) и периода ее усреднения.

Для случаев использования в качестве априорной информации математического ожидания параметра или его среднего значения за неполный период расчета средние квадраты погрешности соответственно определяются следующими выражениями:

$$\sigma_{\Delta \bar{X}_1}^2 = M \left\{ \left[\frac{1}{T_0} \int_0^{T_0} (x(t) - m_x) dt \right]^2 \right\}; \quad (6)$$

$$\sigma_{\Delta \bar{X}_2}^2 = M \left\{ \left[\frac{1}{T_0} \int_0^{T_0} x(t) dt - \frac{1}{T_1} \int_0^{T_1} x(t) dt \right]^2 \right\}, \quad (7)$$

где t_x — математическое ожидание параметра; T_I — время поступления достоверной информации о текущем значении параметра ($T_I < T_0$)

На рис. 3 построено семейство кривых для нормированного значения погрешности при использовании среднего значения параметра за неполный период расчета. Здесь же (пунктиром) показана кривая для погрешности при использовании математического ожидания параметра. Эта кривая разделяет всю область на две части. В верхней, части использование информации за неполный период расчета является нецелесообразным, так как возникающая при этом погрешность превышает погрешность оценки среднего значения параметра по его математическому ожиданию.

При наличии корреляционной связи между параметрами возникает возможность замены одного параметра другим. Среднеквадратичная погрешность в результате такой замены определяется выражением

$$\sigma_{\Delta \bar{X}} = M \left\{ \left[\frac{1}{T_0} \int_0^{T_0} x(t) dt - \frac{1}{T_0} \int_0^{T_0} y(t) dt \right]^2 \right\}, \quad (8)$$

где $x(t)$ и $y(t)$ — текущие значения коррелированных параметров.

Значительный практический интерес представляет использование в качестве априорной информации корреляционной связи между одноименными параметрами параллельных технологических потоков (например, в парогенераторе). Оценка погрешности в этом случае может быть получена без непосредственного определения взаимокорреляционной функции. Следует отметить, что выбор вида априорной информации и решение вопроса о возможности ее использования в конечном счете зависит от дополнительной погрешности показателя, при расчете которого используется информация.

Выводы

Определение и анализ ТЭП энергооборудования является основой для оценки экономичности энергопроизводства ТЭС. Чем выше достоверность и точность определения ТЭП, тем точнее производится объективный анализ экономичности эксплуатации ТЭС. Поэтому компенсация негативного влияния методических погрешностей при автоматическом определении ТЭП повышает точность расчета этих важных показателей и непосредственно влияет на оценку эффективности эксплуатации ТЭС.

Список литературы: 1. Дуэль, М. А. Автоматизированные системы управления энергоблоками тепловых и атомных электростанций [Текст] / М. А. Дуэль. — Х.: ЧП «КиК», 2006. — 420 с. 2. Плетнев, Г. П. Автоматизированные системы управления объектами тепловых электростанций [Текст] / Г. П. Плетнев. — М.: Изд — во МЭИ, 1995. — 352 с. 3. Зак, И. Д. Методы вычисления технико — экономических показателей [Текст] / И. Д. Зак, Я. Г. Хиит, А. Е. Шульман // Вопросы промышленной кибернетики. — М.: ЦНИИКА, 1969, вып. 21. — С. 273 — 288. 4. Дуэль, Т. Л. Компенсация динамической погрешности при оперативном определении показателей энергооборудования [Текст] / Т. Л. Дуэль. — Одесса: ОНТУ, 2001. — Вып. 3(15). — С. 49 — 53.

Поступила в редколлегию 17.03.2012